

# Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/EP05/003398

International filing date: 31 March 2005 (31.03.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: DE

Number: 10 2004 016 482.7

Filing date: 31 March 2004 (31.03.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 06 May 2005 (06.05.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

## BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

26 APR 2005



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 10 2004 016 482.7

**Anmeldetag:** 31. März 2004

**Anmelder/Inhaber:** Hydro Aluminium Deutschland GmbH,  
51149 Köln/DE

**Bezeichnung:** Warmfeste Legierung für Wärmetauscher

**IPC:** C 22 C, F 28 F, B 23 P

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 8. April 2005  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Steckl".

Steckl

## Warmfeste Legierung für Wärmetauscher

- Welche Probleme/Nachteile der bekannten Vorrichtungen/Verfahren geben die Veranlassung zur Weiterentwicklung?

Hier: Allgemeines Intro über Wärmetauscher; siehe Patent „Kaltaushärtbare Legierung für Wärmetauscher“ von 2004

Bei steigenden Betriebsdrücken für Automobilwärmetauscher und dem allgemeinen Trend zur Wanddickenreduzierung werden die Festigkeitsanforderungen an Halbzeuge im Zustand nach dem Löten immer höher. Besondere Anforderungen hinsichtlich Warmfestigkeit ergeben sich aus Gesetzgebung in der EU und in den USA, die durch verschärfte Abgasnormen zu höheren Betriebstemperaturen von Ladeluftkühlern führen wird. Eine Möglichkeit die Festigkeit nach dem Löten sowie die Warmfestigkeit nach dem Löten zu steigern ist das Zulegieren von Elementen wie Ni, Zr, seltenen Erden in mehr oder weniger hohen Dosen. Diese Elemente sind üblicherweise nicht in Aluminiumlegierungen enthalten und haben für andere Anwendungsfälle als gelöste Wärmetauscher eher schädliche Effekte und stellen damit ein großes Problem beim Recycling dar.

- Wie lässt sich die der Erfindung zugrunde liegende technische Aufgabe zutreffend beschreiben?  
Werkstoff für gelöste Wärmetauscher mit Mg, Si, Cu, Mn und Cr als Hauptlegierungselemente, der zur Vermeidung von Schmelzungen während des Löten eine Solidustemperatur von mindestens 620°C aufweist, ohne dass Flüssigmengen oder Spezialzusätze zum Flüssmittel CAB-lötfähig ist und bei dem die Festigkeit R<sub>pt,2</sub> nach dem Löten sowohl bei RT als auch bei 250°C Prüftemperatur > 65 MPa beträgt. Als Randbedingung muß der Werkstoff mit üblichen Verfahren zu fertigen sein und muß ein Korrosionspotenzial von > -750 mV aufweisen

- Welche sind Ihres Erachtens die wesentlichen Merkmale der Erfindung?

Chemische Zusammensetzung der Legierung (in Gew.-%)

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
min.	0,3		0,3	1,1	0,15	0,01		0,01
max.	1	0,5	0,7	1,8	0,3	0,3	0,05	0,3

sowie unvermeidliche Beimengungen (einzel: max 0,10 %, gesamt: max. 0,15 %)

Fertigungsweg:

Barren im Stranggußverfahren herstellen

Platten für Plattierschicht mit Kernbarren verbinden

Vorwärmen zum Warmwalzen bei 400-500°C

Warmwalzen, dabei und dadurch die Platten für Plattierschicht unlösbar mit dem Kern verbinden

Wanddicken 3-10 mm, Warmbandtemperaturen 250-380°C

Walzen auf Enddicke

Bei einer Zwischenwärmung mit 300-450°C entweder auf das Warmband oder bei einer Dicke zwischen

Warmband- und Enddicke

Zustandsglühen auf Endzustand (nur bei weichem oder angeglühtem Zustand) mit 250-400°C

Effekte:

Durch den gewählten Fertigungsweg wird mit der oben angegebenen Legierung eine hohe Sekundärphasen-dichte durch Kombination +Si und +Mn und +Cr (siehe Folien Steuerungsgremium WT oder CBM-Meeting vom 28.08.2003) erreicht. Es wird angenommen, daß die hohe Warmfestigkeit auf der hohen Sekundär-phasendichte beruht.

Werkstoff zeigt wenig Kaltaushärtung und hat damit praktisch keine Lagerzeitbeschränkung vor der Verarbeitung durch Verformen vor dem Löten.

Beim Löten bildet sich ein Cu-Gradient dergestalt aus, daß die oberflächennahen Schichten an Cu verarmen, der Kern aber Cu-reich bleibt. Das bewirkt eine gute Korrosionsbeständigkeit (Long-Life-Effekt).

Zentrale Eigenschaft: Warmfestigkeit bis über 265°C, im Versuch mehr als 20% höhere Warmfestigkeit als mit State-of-the-art Vergleichswerkstoff und mehr als doppelte Warmfestigkeit wie EN AW-3003.

Nochmal Abgrenzung der Elementgehalte (siehe 2.: Email Mrotzek vom 12.03.2004)  
Besonders vorteilhaft sind Si = 0,5-0,8%, Fe max. 0,35%, Mn = 1,1-1,5%

Element	Grenzwerte	Nachteil bei Unterschreitung	Nachteil bei Überschreitung
Si	0,3 - 1,0	zu geringe Festigkeit n.d. Löten	zu geringer Schmelzpunkt
Fe	max. 0,5		keine Long-Life-Struktur
Cu	0,3 - 0,7	zu geringe Warmfestigkeit	gießtechnische, Korrosions- und Lötprobleme
Mn	1,1 - 1,8	zu geringe Warmfestigkeit	nicht mehr wirksam, grobe Ausscheidungen
Mg	0,15-0,3	zu geringe Festigkeit n.d. Löten	nur mit Einschränkungen CAB-lötfähig
Cr	0,01 - 0,3	zu geringe Warmfestigkeit	grobe Ausscheidungen
Zn	max. 0,05		zu unedel gegenüber (Zn-freien) Lamellen
Ti	0,01 - 0,3	Risse beim Erstarren der Barren	grobe Ausscheidungen

(Eine weitergehende Beschreibung und/oder Zeichnungen können beigefügt werden.)

4. Sind Ihnen alternative Lösungen der Aufgabe bekannt?  
Wenn ja, welche?

Bisherige Rohrbänder wie z.B. HA 3905-G und Wettbewerbslegierungen

Warmfestigkeit ist bisher bei Ni-haltigen Legierungen bekannt.

5. Welche Vorteile gegenüber den bekannten Verfahren/Vorrichtungen gewährleistet die Erfindung?  
Die Legierung bietet auf Basis konventioneller Legierungselemente (Mg, Si, Cu, Cr) bei geeigneter Fertigung und Verarbeitbarkeit durch den Kunden (Umformen, Längsnahtschweißen, Löten bei 600°C) eine hohe Warmfestigkeit von Rp0,2 > 65 MPa bei 250°C

## Einleitung

Wärmetauscher für den PKW-Markt werden seit vielen Jahren praktisch ausschließlich aus Aluminium gefertigt. Insbesondere aufgrund seiner geringen Dichte und den hervorragenden Korrosionseigenschaften bei gleichzeitig sehr guter Wärmeleitfähigkeit gelang es dem Werkstoff Aluminium, das bis in die siebziger Jahre hinein dominierende Kupfer und Messing zu substituieren. Die alt hergebrachten Schwermetalle findet man mit einem nennenswerten Marktanteil nur noch im LKW-Bereich oder in Nischenanwendungen. /1/.

Ausgangsprodukt für die Fertigung der verschiedenen Wärmetauscherkonstruktionen sind verschiedene Al-Walzprodukte, die als längsgeteilte Rollen von den Walzwerken an die Wärmetauscherhersteller geliefert werden. Im Jahr 2002 wurden weltweit ca. 570.000 t an gewalztem Al-Halbzeug für Wärmetauscher produziert und verarbeitet. Hiervon gingen gut 230.000 t in den amerikanischen und gut 150.000 t in den asiatischen Markt, wobei der Anteile an automobilen Anwendungen ca. 70 % des Weltmarktes ausmachte. In Europa wurden 2002 insgesamt ca. 185.000 t produziert, wovon ca. 131.000 t in den Bereich Automobil gingen. (Schätzung auf Basis interner und externer Quellen). Zusätzlich wurden, ohne Berücksichtigung von Verbindungsrohren, weltweit ca. 110.000 t an stranggepressten Rohren für den Wärmetauschermarkt hergestellt und verarbeitet. Davon gingen knapp 35.000 t in den europäischen Markt. (Quelle: Hydro Alunova)

Das Marktvolumen von Al-Halbzeug für den Wärmetauschermarkt steigt seit Jahren kontinuierlich an. Neben der weiteren Substitution von Kupfer-Messing-Kühlern im LKW-Bereich und einem Wachstum im Heimklimaanlagenbereich gehen die Wachstumsimpulse vor allem vom PKW-Markt aus. Unabhängig von der eigentlichen PKW-Konjunktur führt der verstärkte Einbau von Klimaanlagen (Abbildung 1) auch in Klein- und Mittelklassewagen sowie der Trend zu modernen Dieselmotoren mit Turboladern und entsprechenden Ladeluftkühlern zu einem strategisch wachsenden Al-Halbzeugmarkt. Abbildung 2 zeigt im Überblick die wesentlichen Produkte der Wärmetauscherhersteller.

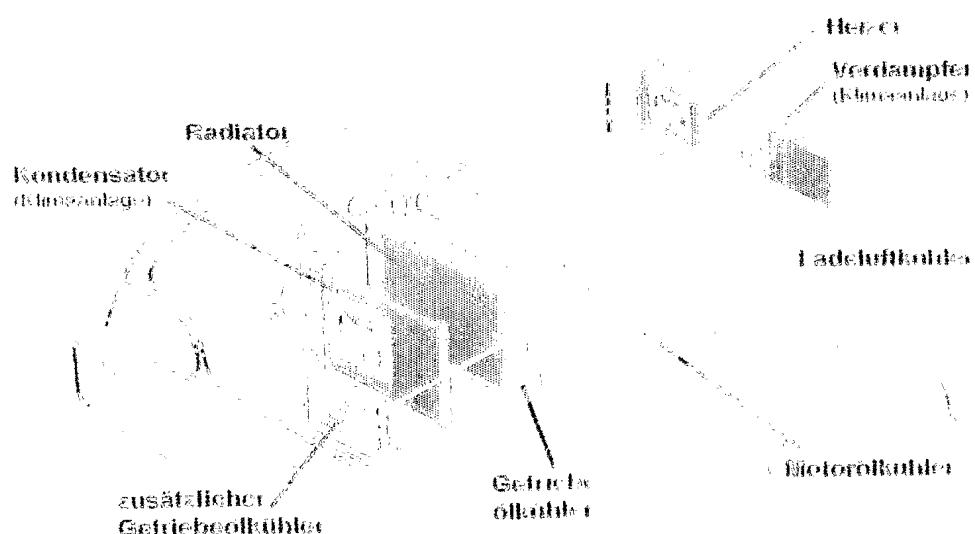


Abb. 1: Anordnung verschiedener PKW-Wärmetauscher



Abb. 2: Wärmetauscher-Produkte

## Bauarten

Wärmetauscher werden überwiegend nach einer der sechs Bauarten gefertigt, die im folgenden am Beispiel von Automobil-Wärmetauschern vorgestellt werden.

### Mechanisch gefügte Kühler:

Mechanisch gefügte Wärmetauscher bestehen i.d.R. aus gezogenen Rohren und aufgesteckten Lamellen. Beide Al-Halbzeuge sind nicht lotplattiert; das Lamellenband kann lackiert sein. Typische Anwendungen sind Motorkühler (Abbildung 3) und Heizer. Mechanisch gefügte Wärmetauscher sind relativ kostengünstig, besitzen aber aufgrund der fehlenden Lötverbindung eine geringere Leistungsdichte.

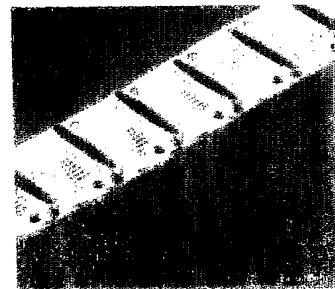


Abb. 3: Mechanisch gefügter Kühler

### Wärmetauscher in Rohr-Lamelle-Bauart

Wärmetauscher in Rohr-Lamelle-Bauart bestehen überwiegend aus längsnahtgeschweißten Rohren und dazwischen verlöteten Lamellen. I.d.R. ist die Außenseite des Rohrbandes lotplattiert und die Lamelle nicht lotplattiert. Die Rohrfertigung erfolgt mittels Hochfrequenz-Schweißen mit Vorschubgeschwindigkeiten von deutlich über 100 m/min. Abbildung 4a zeigt ein längsnahtgeschweißtes Rohr im Querschliff. Es gibt Flachrohrvarianten, die ohne eine Längsnahtschweißung auskommen, weil das dichte Rohr durch den Lötprozeß entsteht. Längsnahtgeschweißte Rohre mit großem Querschnitt können durch eine eingelötete Innenlamelle („Turbulator“) verstärkt werden. In diesem Fall wird das Rohrband zusätzlich innenseitig lotplattiert. Der Abschluß des Wärmetauscherbaus nach oben und unten erfolgt durch ein einseitig lotplattiertes Seitenteilband. Die in Abbildung 4b gezeigte Ausbildung der Lötkehlnaht ist sowohl für die mechanische Stabilität als auch für die Wärmeleistung der gelöteten Wärmetauscher von großer Bedeutung. Die Größe der Lötkehle hängt von der Viskosität des Lotes und seiner

Benetzungsfähigkeit während des Lötprozesses ab. Indirekt wird sie demzufolge von zahlreichen Parametern wie Siliziumgehalt des Lotes, Lötatmosphäre, Lötzyklus, Korngröße sowie Rekristallisationsverhalten des Rohr- und Lamellenwerkstoffes u.a. beeinflusst /2/.

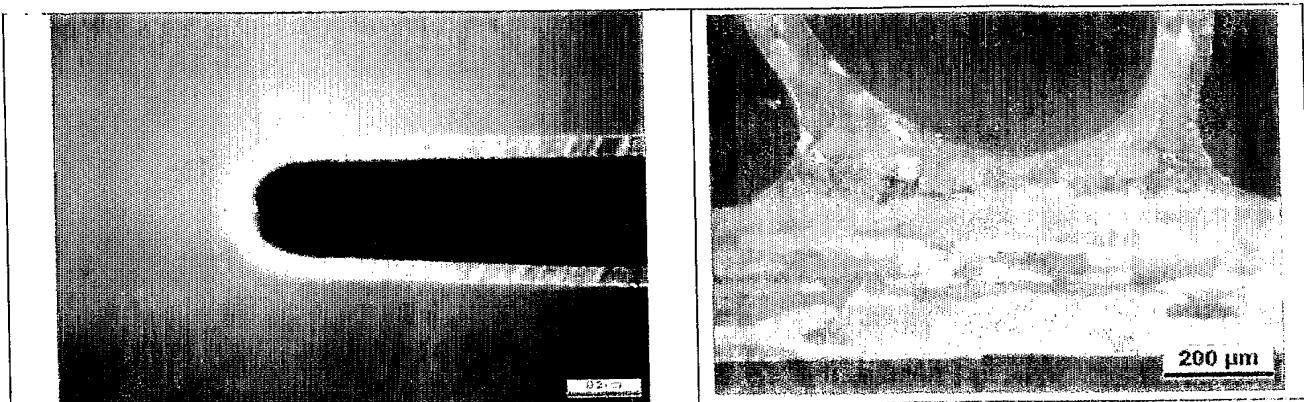


Abb. 4a: Längsnahtgeschweißtes Rohr im Querschliff      4b: Typische Rohr-Lamelle Lötkehlnaht

Bei der klassischen Konstruktion werden die Rohre in einen einseitig lotplattierten Rohrboden gesteckt, der entsprechend gestanzte Löcher besitzt. Bei aktuellen Konstruktionen kann die Notwendigkeit eines Rohrbodens entfallen. Typische Anwendungen für Rohr-Lamelle-Wärmetauscher sind Radiatoren, Ladeluftkühler, Ölkühler und Heizer (Abbildung 5). Insbesondere für den Betrieb der Radiatoren ist es wichtig, dass das Konstruktionsprinzip durch die Auswahl abgestimmter Al-Halbzeugprodukte die Herstellung eines im Hinblick auf Korrosionsbeständigkeit optimierten Produktes erlaubt.

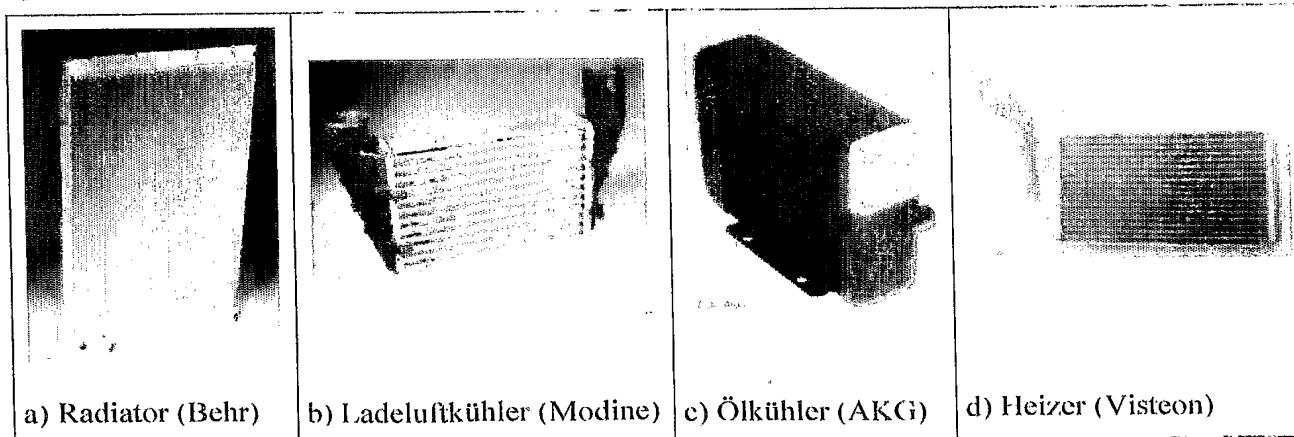


Abb. 5: Beispiele für Wärmetauscher in Rohr-Lamelle Bauart

#### Wärmetauscher in Profil-Platte-Bauart

Wärmetauscher in Profil-Platte-Bauart bestehen aus einem beidseitig lotplattierten Trennblech, einer nicht lotplattierten, gestanzten oder lamellierten Lamelle und einem extrudierten Profil. Die flüssigkeitsdichten Bereiche des Wärmetauschers entstehen durch die Verlötzung der Trennbleche mit den Profilen. Der Sammler oder Wassertank aus Aluminium wird extrudiert oder gegossen.

I.d.R. wird er mit dem Kühlnetz verschweißt. Typische Anwendungen für diese Bauart sind Ölkipper und Ladeluftkipper (Abbildung 6).

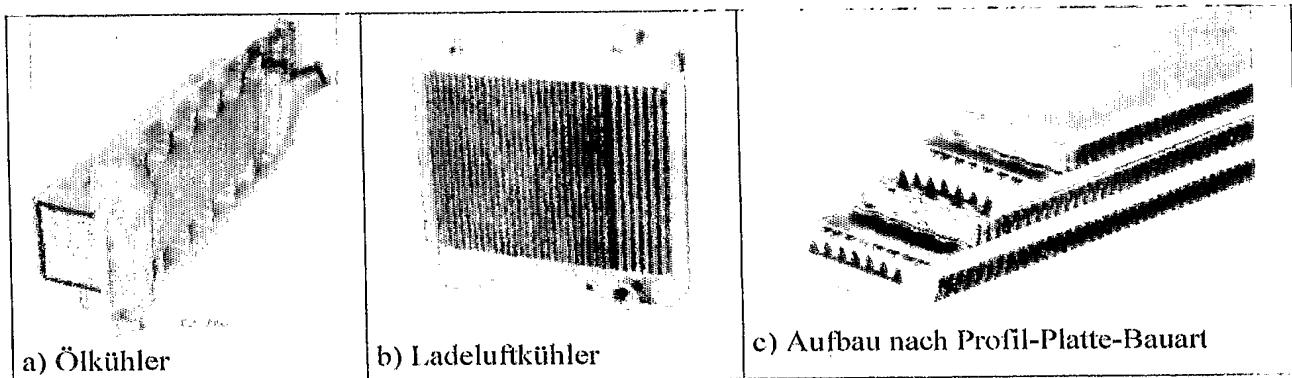


Abb. 6: Beispiele für Wärmetauscher in Profil-Platte-Bauart (AKG)

### Wärmetauscher in Mehrkammerrohr-Lamelle-Bauart

Wärmetauscher in Mehrkammerrohr-Lamelle-Bauart bestehen aus extrudierten Mehrkammerrohren, beidseitig lotplattierten Lamellen und längsnahtgeschweißten Sammelrohren mit einseitiger Lotplattierung. Die Sammelrohre werden durch das Verlöten von einseitig lotplattierten, gestanzten Endkappen verschlossen. Der obere und untere Rand der Wärmetauscher wird mit einer einseitig lotplattierten Verstärkung ausgeführt. Wärmetauscher dieser Bauart werden z.Zt. im wesentlichen für Kondensatoren als Bestandteil von Klimaanlagen eingesetzt (Abbildung 7). In Zukunft wird diese Bauart als Alternative auch für andere Produkte wie beispielsweise Klimaanlagenverdampfer eingesetzt.

Als Alternative zu den Strangpressprodukten können Mehrkammerrohre durch Einsatz von Innenlamellen oder durch Umformprozesse des Rohrbandes auf Basis von Walzprodukten hergestellt werden.

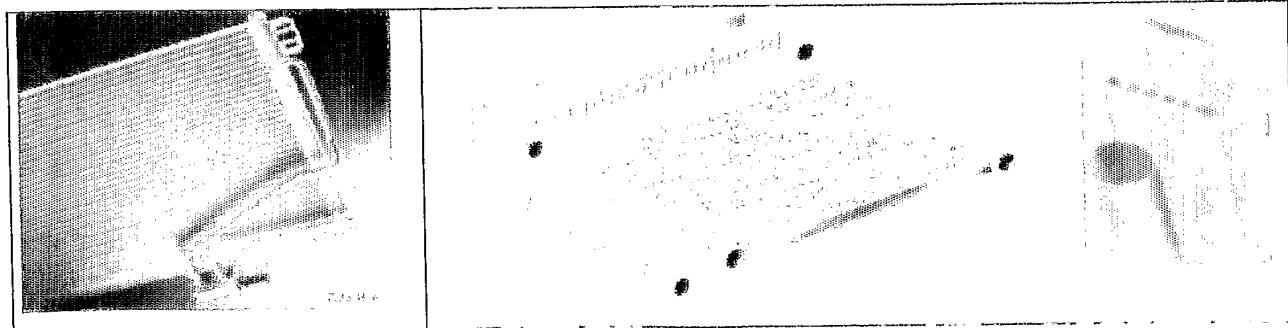


Abb. 7: Kondensator in Mehrkammerrohr-Lamelle-Bauart

### Wärmetauscher in Stapelscheiben-Bauart

Wärmetauscher in Stapelscheiben-Bauart bestehen im wesentlichen aus beidseitig lotplattiertem Scheibenband und gestanzten Lamellen, die den Abstand der Scheiben und den Verlauf des Flüssigkeitsflusses bestimmen. Stapelscheiben-Kühler sind fast immer Ölkühler. Der in Abbildung 8 gezeigte Ölkühler ist mit einem druckgegossenen Ölfiltergehäuse verschraubt und besitzt stranggepresste Anschlußrohre.

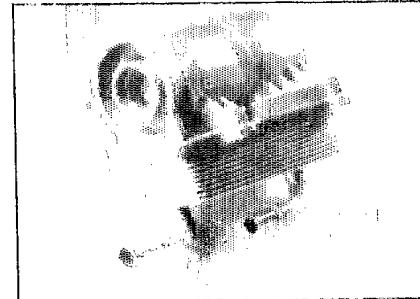


Abb. 8: Ölkühler (Behr)

### Wärmetauscher in Scheibe-Lamellen-Bauart

Wärmetauscher in Scheibe-Lamellen-Bauart bestehen aus beidseitig lotplattierten, gestanzten Scheiben und unplattierten Lamellen. Die durch den Stanzvorgang eingestellte Scheibengeometrie bestimmt den Verlauf des Flüssigkeitsflusses. Der seitliche Abschluß des Wärmetauschers erfolgt durch eine einseitig lotplattierte, gestanzte Endscheibe. Wärmetauscher in Scheibe-Lamellen-Bauart werden vor allem für Verdampfer in Klimaanlagen sowie für Ölkühler eingesetzt (Abbildung 9).

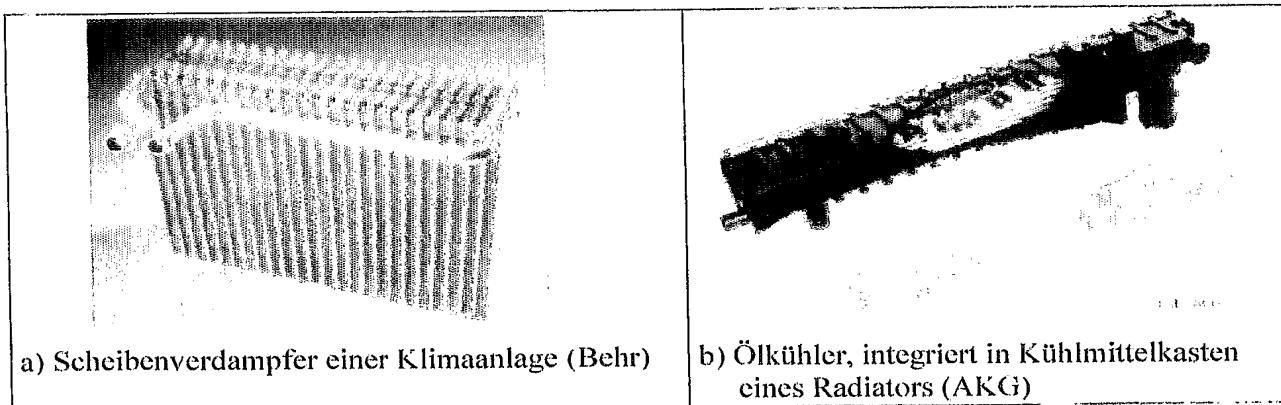


Abb. 9: Beispiele für Wärmetauscher in Scheiben-Lamellen-Bauart

### Fertigungsablauf und Lötverfahren

Die drei wichtigsten Verfahren zur Herstellung von Aluminium-Wärmetauschern sind das Schutzgaslöten mit nichtkorrosivem Flussmittel, das Vakuumlöten sowie das Salzbadlöten. Die Vor- und Nachteile dieser Verfahren sind in Abbildung 16 zusammengefasst.

Ausgehend vom angelieferten Halbzeug der Aluminiumhersteller zeigt Abbildung 10 beispielhaft den Ablauf der Arbeitsschritte bei der Herstellung eines Wärmetauschers mittels Schutzgaslöten mit nichtkorrosivem Flussmittel. Der Automatisierungsgrad zur Herstellung der sogenannten „aufgesetzten“ Kühler vor dem Lötprozess hängt von der Bauart und vor allem von der Stückzahl des Wärmetauschers ab. Je nach Bauart können die Arbeitsschritte variieren bzw. hinzukommen und wegfallen. Insbesondere die Arbeitsschritte Befluxen und Trocknen entfallen, wenn man als Lötverfahren den Vakuumprozeß, das Schutzgaslöten ohne Flussmittel oder das Salzbadlöten einsetzt.

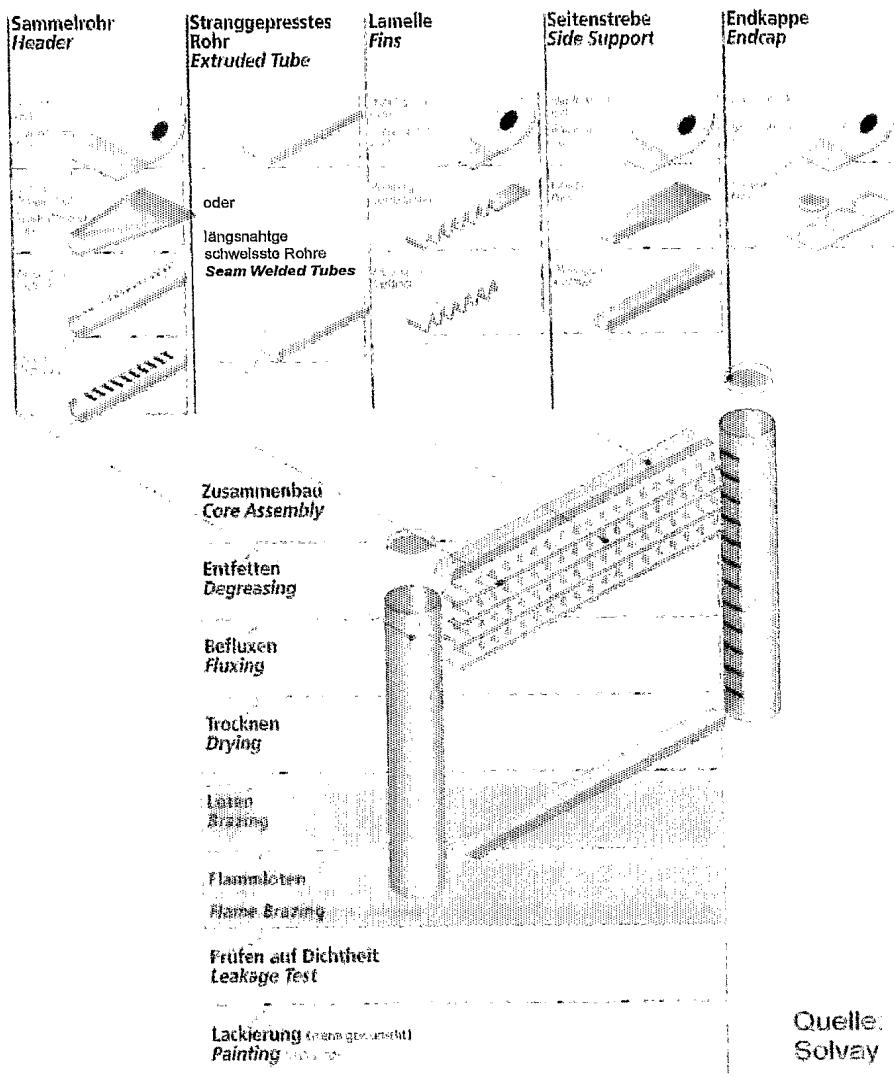


Abb. 10: Fertigungsschritte am Beispiel eines Wärmetauschers im Rohr-Lamelle-Design

In Abhängigkeit von Bauteilgröße, Bauart, Stückzahl und Funktionalität werden zur Herstellung von Wärmetauschern die o.g. Lötverfahren eingesetzt. Das Löten mit korrosivem Flussmittel spielt aufgrund der Notwendigkeit einer gründlichen Reinigung nach dem Lötprozeß kaum noch eine Rolle. Das Ultraschalllöten wird für spezielle Lösungen verwendet. Alle lokalen Erwärmungsverfahren sind zur eigentlichen Wärmetauscherherstellung aufgrund der hohen Anzahl an Fügestellen nicht geeignet. Zum Fügen von Anschlußrohren werden bei großen Stückzahlen das Flammlöten, das MIG-Schweißen und seltener das Laserschweißen verwendet. Andere Verfahren mittels lokaler Erwärmung wie z.B. das Induktions- oder Plasmalöten spielen in der industriellen Wärmetauscherfertigung zur Zeit eine untergeordnete Rolle.

Im Laufe der 90er Jahre hat sich zur Herstellung von Wärmetauschern für die Automobilindustrie der CAB-Prozess (Controlled Atmosphere Brazing) als das wichtigste Verfahren etabliert (Abbildung 11). Hierbei wird auf die mechanisch zusammengebauten und von einer Spannvorrichtung gehaltenen Wärmetauscher ein fluoridhaltiges Flussmittel i.d.R. mittels Aufsprühen einer wässrigen Suspension und anschließender Trocknung appliziert.

Freudenberg

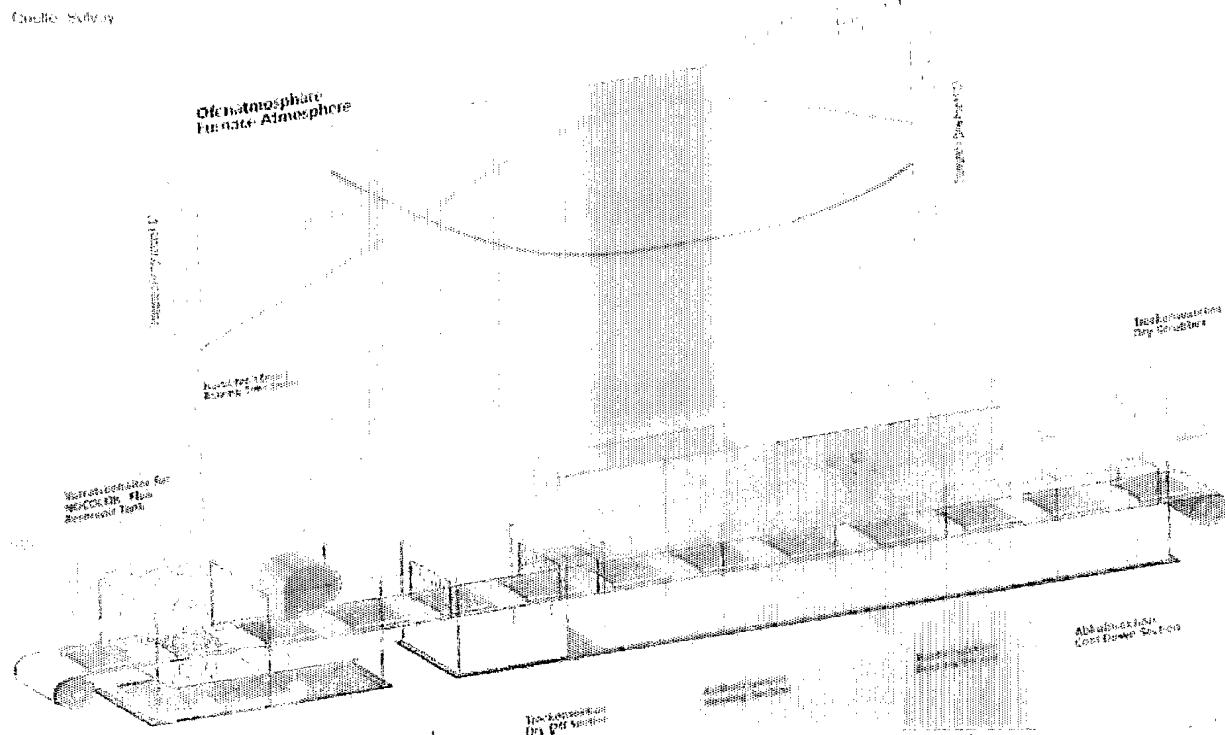


Abb. 11: Ablauf des CAB-Prozesses

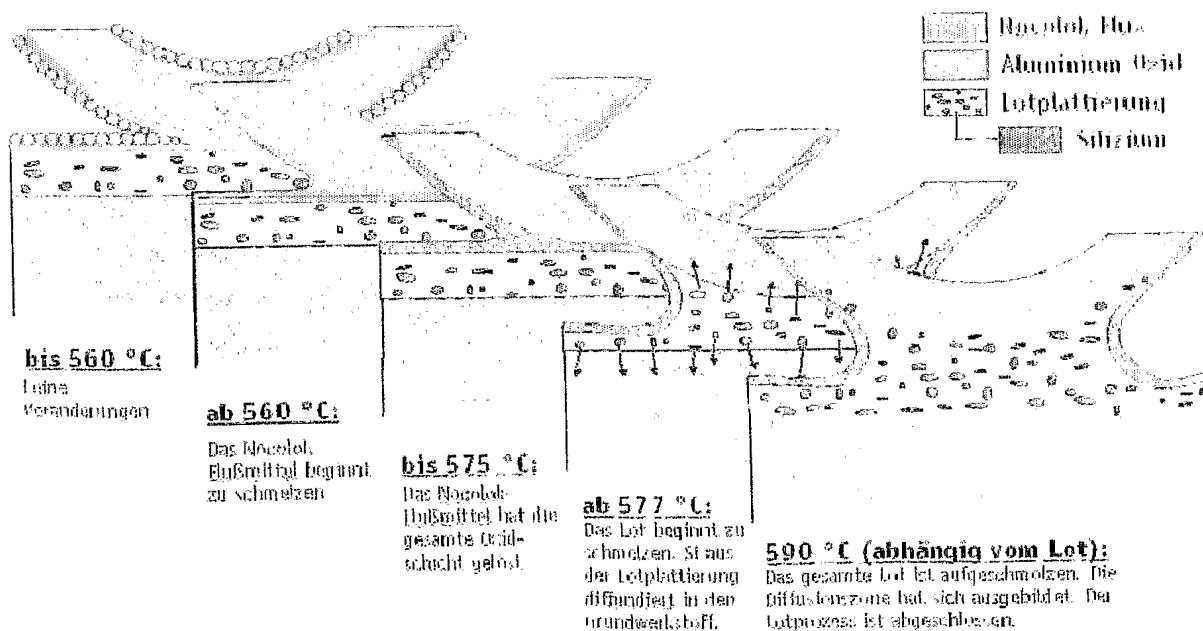


Abb. 12: Wirkungsweise des fluoridischen Flussmittels Nocolok™/3

Alternativ kann das Flussmittel auch elektrostatisch als trockenes Pulver appliziert werden. Anschließend erfolgt die Löting in einem kontinuierlichen Durchlaufofen unter Schutzgas. Unterhalb der Solidustemperatur des Lotes erreicht das Flussmittel seine Wirktemperatur, schmilzt auf und reagiert mit der Oxidhaut des Aluminiums, so dass das anschließend aufschmelzende Lot in die Lage versetzt wird, den Fügepartner zu benetzen. Abbildung 12 zeigt schematisch die Wirkungsweise des fluoridischen Flussmittels Nocolok™ in der Hartlötpause.

Da das Flussmittel nicht hygrokopisch und nicht korrosiv ist, muss es nach dem Löten nicht entfernt werden. Typischerweise werden 2-5 g/m<sup>2</sup> Flussmittel appliziert, wobei die genaue Menge sowie die Notwendigkeit eines Cs-Zusatzes vom Mg-Gehalt der Fügepartner abhängen, der im Normalfall ca. 0,3 Gew.-% nicht überschreiten sollte. /4/ Bei der Konstruktion der Wärmetauscher muß die Erreichbarkeit aller Verbindungsstellen durch das Flussmittel gewährleistet sein. Um den Abtransport der Produkte der Flussmittelreaktion während des Lötprozesses zu ermöglichen, muss ein Mindestspalt bei Lötpause vorhanden sein. Im allgemeinen können Spalte bis maximal 0,2 mm überbrückt werden.

Alternativ zur klassischen Flussmittelapplikation auf den aufgesetzten Kühler kann das Flussmittel auch bereits auf die Oberfläche der stranggepressten Rohre bzw. des gewalzten Halbzeuges aufgebracht werden. Zahlreiche Anstrengungen werden zur Zeit unternommen, um die Verlagerung dieses Wertschöpfungsschrittes vom Wärmetauscherhersteller zum Halbzeuglieferanten zu realisieren. Zu den sich hieraus ergebenden Chancen gehört die Möglichkeit dem Flussmittel Silizium zuzugeben, um eine in-situ Entstehung des Lotes während des Lötprozesses zu ermöglichen (Abbildung 13b). Abbildung 13a zeigt schematisch die Applikation des reinen Flussmittels auf eine lotplattierte Oberfläche. /5/

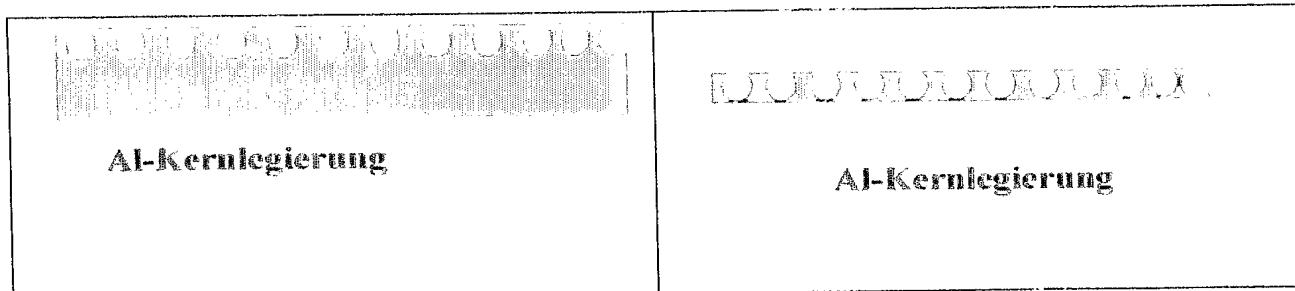


Abb. 13a: Flussmittel und Bindersystem auf Lotplattierung - Hybraz™ PF

Abb. 13b: Flussmittel + Silizium und Bindersystem auf Kernwerkstoff - Hybraz™ PB

Das zweite wichtige Verfahren zur Herstellung von Aluminium-Wärmetauschern ist das Vakuumlöten. Hierbei ist der Einsatz von Flussmitteln nicht erforderlich. Während der Aufheizphase reißt die Oxidschicht aufgrund ihres geringeren Wärmeausdehnungskoeffizienten gegenüber dem des Aluminiums auf, wobei das Vakuum eine Re-Oxidation verhindert bzw. extrem verlangsamt. Das beim Vakuumlöten i.d.R. im Lot eingesetzte Legierungselement Magnesium unterstützt dies, indem es in der heißen Vakuumatmosphäre des Ofens verdampft und als Sauerstoff-Getter wirkt, da seine Affinität zu Sauerstoff höher als die von Aluminium ist. Vermutlich ist der Mg-Dampf in der

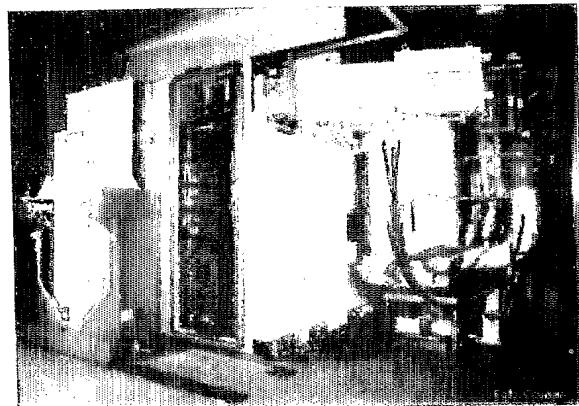


Abb. 14: Vakuumofen

Lage eine Reduktion der Aluminium-Oxid- bzw. Hydroxidschichten zu bewirken. /6, 7/ Ein Nachteil des Mg-Dampfes ist der Niederschlag von Magnesiumoxid an den kalten Stellen des Lötovens, der zu einem regelmäßigen Reinigungsaufwand führt. Aus diesem Grund hat es verschiedene Entwicklungen mit dem Ziel gegeben, den Einsatz von Magnesium zu vermeiden oder zumindest zu reduzieren. Löttechnisch erfolgreich und im Einsatz befindlich sind die Beschichtung mit Ni und das Legieren von Aluminiumloten mit benetzungsfördernden Elementen wie Antimon, Barium, Beryllium, Strontium und/oder Wismut. Aufgrund der internen Schrottkreisläufe in großen Aluminiumwerken wird aber für die Massenfertigung von Automobilwärmetauschern das konventionelle AISi10-Lot mit einem Mg-Gehalt von 0,7-1,5 Gew-% verwendet. Das Vakuumlöten eignet sich insbesondere für Bauteile wie Ölkühler, bei denen es auf Sauberkeit und das unbedingte Vermeiden von Partikeln im Ölkreislauf ankommt. Bei der Montage ist zu berücksichtigen, dass nur kleine Lötspalte bis ca. 0,1 mm überbrückt werden können. Abbildung 14 zeigt einen für die Herstellung von Automobilwärmetauschern geeigneten Vakuumofen. Für nicht-automobile Anwendungen ist es wichtig, dass das Vakuumlöten auch die Herstellung von sehr großen und schweren Bauteilen bis zu einer Länge von mehreren Metern und einem Gewicht von mehreren Tonnen in einem Lötzyklus erlaubt.

Beim Salzbadlöten (Abbildung 15) werden die Bauteile vorgewärmt und anschließend in ein Salzbad eingetaucht. Das Salzbad ist gleichzeitig Flussmittel und Transportmedium für Wärme. Das flüssige Salz reagiert mit der Oxidhaut und ermöglicht die Benetzungsreaktion des durch das Flussmittel geschützten Lotes. Nach der Haltezeit auf Löttemperatur werden die Wärmetauscher in „Schrägstellung“ aus dem Bad herausgeföhrt, um den Ablauf des flüssigen Salzes zu gewährleisten. Durch das Eintauchen in Flüssigkeiten wie z.B. Wasser können hohe Abkühlgeschwindigkeiten realisiert werden. Da das Flussmittel hygroskopisch ist und Chloride enthält, müssen alle Wärmetauscher in einem mehrstufigen Verfahren gereinigt werden, um Korrosionsprobleme zu vermeiden. Beim Salzbadlöten sind große Spalte bis zu 0,3 mm überbrückbar.

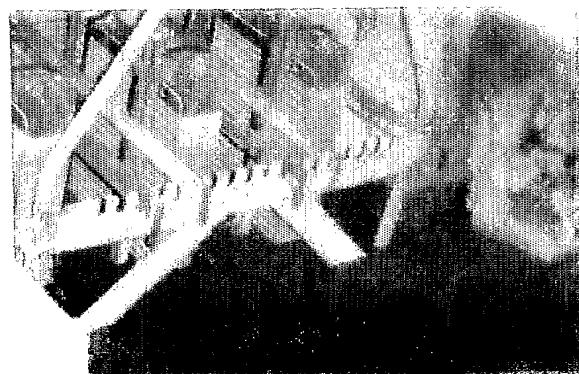


Abb. 15: Salzbad zum Wärmetauscherlöten

	CAB-Prozess	Vakuumlöten	Salzbadlöten
Vor-Teile	<ul style="list-style-type: none"> <li>• einfach u. zuverlässig</li> <li>• kontinuierlicher Betrieb</li> <li>• thermische Entfettung statt Reinigung möglich</li> <li>• keine Reinigung nach dem Löten notwendig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sauberkeit nach dem Löten</li> <li>• keine Abgasbehandlung</li> <li>• Löten Mg-haltiger Legierungen</li> <li>• Möglichkeiten des Löten von Großwärmetauschern</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• einfach</li> <li>• zuverlässig</li> <li>• wenig Abfall</li> <li>• Löten hoch Mg-haltiger Legierungen</li> </ul>
Nach-Teile	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schutzgas notwendig</li> <li>• Abgasreinigung (HF)</li> <li>• Limitierung Mg-Gehalt</li> <li>• Löten geschlossener Strukturen ist schwierig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• hohe Investitionskosten</li> <li>• Sauberkeit vor dem Löten</li> <li>• enge Bauteiltoleranzen</li> <li>• Reinigung des Ofens (MgO)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flussmittelverbrauch</li> <li>• hoher Reinigungsaufwand nach dem Löten</li> <li>• Umweltauflagen</li> </ul>

Abb. 16: Vor- und Nachteile der wesentlichen Aluminium-Lötverfahren

### Aluminium-Halbzeug zum Löten von Wärmetauschern

Halbzeuge zum Löten von Aluminium-Wärmetauschern müssen eine Reihe an Anforderungen erfüllen, die je nach Produkt und Bauart des Wärmetauschers unterschiedlich stark ausgeprägt sind. Hervorzuheben sind dabei:

- Umformverhalten vor dem Löten
- Knickfestigkeit während des Löten für Lamellen
- Lötfähigkeit (CAB / Vakuum)
- Festigkeit, Warmfestigkeit und Wechselfestigkeit nach dem Löten
- Abgestimmtes Korrosionsdesign der Halbzeuge (Korrosionspotenzial)
- Wärme- und Kühlleistung (Leitfähigkeit, Lötnahtqualität, Konstruktion)
- Recyclingfreundlichkeit

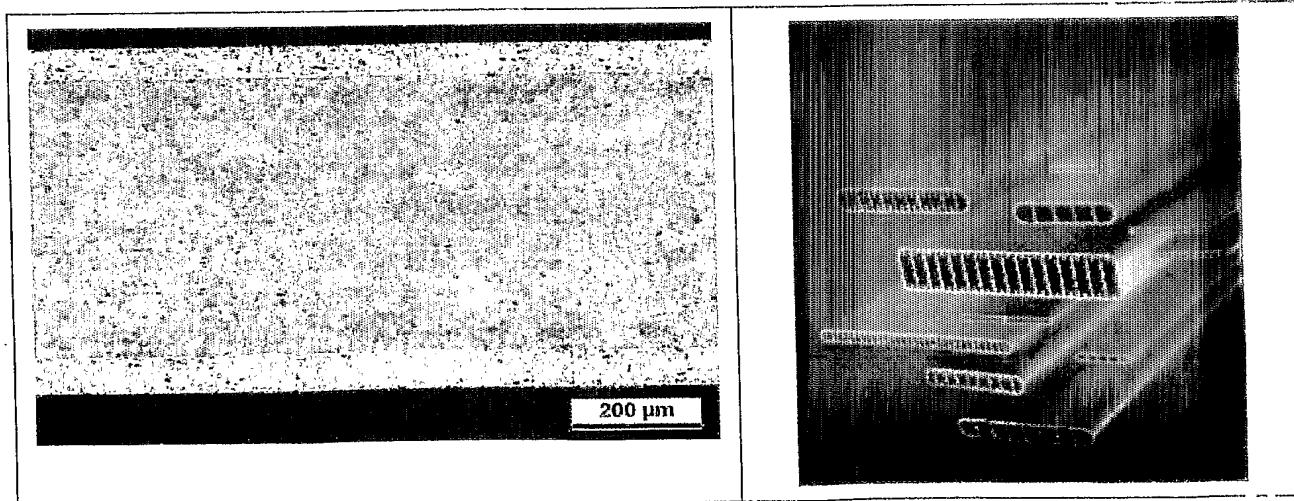


Abb. 17a: Querschliff eines Walzproduktes mit beidseitiger Lotplattierung

17b: Mehrkammerprofile

Da in der industriellen Wärmetauscherfertigung die Lotapplikation als Standard nach wie vor über den Warmwalzplattierprozess läuft, kommen im wesentlichen die klassischen, gut umformbaren AlSi-Lote mit Solidustemperaturen zwischen 555°C und 577°C zum Einsatz. Bei den Loten wird im wesentlichen zwischen Mg-haltigen Vakuumloten wie EN/AW 4004 (AlSiMg) und EN/AW 4104 (AlSiMg(Bi)) sowie CAB-geeigneten Loten wie EN/AW 4343 (AlSi7,5) bis EN/AW 4047A (AlSi12) unterschieden. Im Salzbad ist es möglich, alle Lote zu verarbeiten. Die CAB-geeigneten Lote können aus korrosionschemischen Gründen 1 bis 1,5 Gew.-% Zink enthalten. Aufgrund seines geringen Dampfdruckes ist Zink als Legierungselement für Vakuumlote und auch Vakuumlegierungen nicht geeignet. Alle genormten Aluminiumbasislote finden sich in der DIN/EN 1044:1999. Die genaue Lotauswahl und prozentuale Plattierschichtdicke hängt von der Materialdicke und der Konstruktion ab. Typische Plattierschichtdicken liegen zwischen 5 % und 15 %, wobei in erster Näherung die relative Plattierschichtdicke mit geringerer Banddicke aufgrund der notwendigen Lotmindestmenge zunimmt. Zusammen mit der Führung des Lötprozesses wird durch die Lotauswahl vor allem die Lotkehlenausbildung und die Erosion der Grundwerkstoffe beeinflusst. Zum Aluminiumlöten eignen sich auch Zinkbasislote wie ZnAl5, die beispielsweise zum Ultraschalllöten bei vergleichsweise geringen Temperaturen eingesetzt werden. Zinkbasislegierungen werden aber aus Fertigungs- und Recyclinggründen nicht im industriellen Maßstab auf Aluminium plattiert, sondern als Lotschmelze zum Eintauchen oder als angelegtes Lot verwendet. Aus korrosionstechnischer Sicht weisen Sie den Nachteil auf, dass bei Ihrer Verwendung die Lotnaht aus dem unedelsten Werkstoff besteht und somit, ohne weitere Maßnahmen, die Anode des Systems darstellt. Neuentwickelte, niedrigschmelzende Lote, z.B. aus den Systemen AlGeSi- oder AlCuNiSi haben aus verschiedenen Gründen wie Preis, Verfügbarkeit, Verformbarkeit und/oder Plattierfähigkeit den Weg in die industrielle Massenfertigung bisher nicht gefunden.

Aufgrund des erforderlichen Mindestabstandes der Solidustemperaturen von Lot und Grundwerkstoff eignen sich vor allen Dingen die hochschmelzenden 3000er Legierungen als naturharte Vertreter und die 6000er Legierungen als aushärtbare Legierungen für die industrielle Herstellung von Wärmetauschern mit konventionellen AlSi-Loten. Abbildung 18 zeigt beispielhaft wichtige Eigenschaften von ausgewählten Standardwalzprodukten für den Wärmetauschermarkt, die mit Bezug auf die im ersten Teil vorgestellten Wärmetauscher-Bauarten diskutiert werden.

Anwendung	Typische Legierung EN-AW	Lieferzustand, typisch	typische Dicke [mm]	typische Eigenschaften nach dem Lötprozeß	
				$R_{p0,2}$ [MPa]	Korrosionspotenzial [mV]
Lamelle	3003 + Zn	H16	0,10	45	-820
Lamelle	3003 mod.	H16	0,08	57	-760
Rohr	3005 mod.	H24	0,30	64	-690
Rohrboden	3005 mod.	O	1,5	60	-745
Seitenteil	3017	O	1,2	51	-730
Scheibe	3017 mod.	O	0,6	46	-720

Abb. 18: Eigenschaften ausgewählter Standard-Walzprodukte nach dem Löten bei 600°C  
- die genauen Eigenschaften hängen von Hersteller, Konstruktion, Banddicke u. Lötparametern ab

Lamellenband wird i.d.R. durch sogenannte Lamellierwalzen in Form gebracht und anschließend auf Länge geschnitten. Die Anforderungen im Hinblick auf die Umformbarkeit vor dem Löten sind eher mittel bis gering. Lamellenband ist typischerweise 60 µm bis 150 µm dick und wird in den Zuständen H116 oder H114 ausgeliefert. Bei Großwärmetauschern kann die Formgebung der Lamellen auch durch Prägen erfolgen; die Dicke ist für diese Anwendung deutlich höher. Da das Lamellenband das dünnteste Halbzeug im Wärmetauscher ist, kommt es beim Löten häufig auf die Ausbildung eines groben Kernes (Abbildung 19) an, um ein zu starkes Eindiffundieren mit der sich daraus ergebenden Erosionsgefahr zu verhindern. Die Legierung EN-AW 3003 + Zn ist aufgrund ihres Zn-Gehaltes nicht für das Vakuumlöten geeignet, wird aber viel beim CAB-Prozess verwendet. Eine spezielle Legierung EN-AW 3003 mod. eignet sich für alle etablierten Lötverfahren, da sie sowohl Zn- als auch Mg-frei ist und sowohl eine hohe Festigkeit nach dem Löten als auch eine hohe Solidustemperatur aufweist /8/. Da die Lamelle aufgrund ihrer Stützwirkung für Rohre oder Scheiben entscheidend zur Bauteilfestigkeit beiträgt, ist ihre Festigkeit und hierbei vor allem die technische Dehngrenze  $R_{p0,2}$  nach dem Löten von zentraler Bedeutung. Wichtig ist außerdem die Knickfestigkeit der Lamellen bei Lötteiltemperatur, damit das in einer Einspannung unter Druck stehende Kühlernetz nicht zusammenbricht. Auch hierfür ist die Ausbildung eines grobkörnigen Gefüges günstig. Bezuglich der galvanischen Korrosion ist es im Rahmen des Korrosionsdesigns der verschiedenen Halbzeuge wichtig, dass die Lamelle nach dem Löten das negativste Korrosionspotenzial aufweist. Hierdurch fungiert die Lamelle als kathodischer

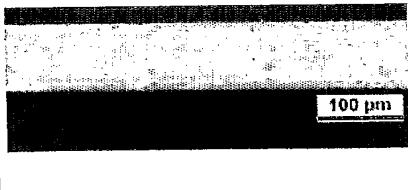
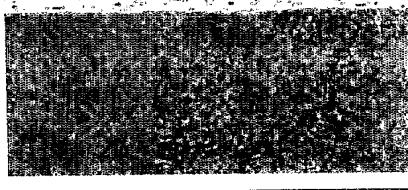
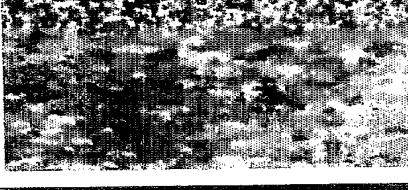
Lamellenlegierung 3003 mod., H16, 0,1 mm, unplattiert	Rohrbandlegierung 3005 mod., H24, 0,35 mm, einseitig lotplattiert mit 10 % AlSi8,5	Rohrbodenleg. 3005 mod., O (weich), 1,5 mm, lotplattiert mit 7,5 % AlSi10
		
$U_{kor} = -755 \text{ bis } -770 \text{ mV}$	$U_{kor} = -685 \text{ bis } -695 \text{ mV}$	$U_{kor} = -740 \text{ bis } -750 \text{ mV}$
Korngefüge	Sekundärausscheidungsgefüge	Korngefüge

Abb. 19: Gefüge Lieferzustand vor (Bild oben) und nach dem Löten bei 600°C (Bild unten)

Schutz für Rohr, Scheibe, Lot etc., so dass trotz der unvermeidlich ablaufenden Korrosion eine Undichtigkeit des Wärmetauschers so lange wie möglich verhindert wird. Die Lamelle besitzt i.d.R. die größte Oberfläche in einem Wärmetauscher und ist somit maßgeblich für die Kühl- oder Heizleistung eines Wärmetauschers verantwortlich. Entscheidenden Einfluß haben diesbezüglich der „Schnitt“ der fertigen Lamelle zur Optimierung der Strömungsverhältnisse und zur weiteren Vergrößerung der Oberfläche um die Schnittkanten, die Verschmutzung des Wärmetauschers im Betrieb sowie das Korrosionsverhalten der Lamelle. Die ohnehin gute Wärmeleitfähigkeit der Aluminiumlegierungen kann durch den Einsatz spezieller Legierungselemente leicht gesteigert

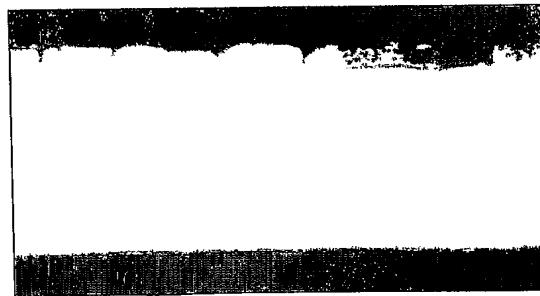
werden /9/, wobei dabei i.d.R. der genormte Bereich der 3000er Legierungen verlassen wird. Zu beachten ist, dass dieser Effekt mit steigenden Betriebstemperaturen des Wärmetauschers nivelliert und i.d.R. mit einer Verschlechterung anderer Eigenschaften wie z.B. Korrosionsverhalten oder Recyclingfreundlichkeit erkauft wird. Lamellenband wird für die meisten Anwendungen unplattiert hergestellt und verarbeitet.

Rohrband besitzt typischerweise eine Dicke zwischen 0,25 mm und 0,6 mm. Je nach Bauart des Wärmetauschers wird das Rohrband außen- oder beidseitig lotplattiert. Die Anforderungen an das Umformvermögen sind eher gering, da es vor dem Löten bzw. Längsnahtschweißen nur einfach umgeformt wird. Die Lötbarkeit wird beim CAB-Prozess vor allem vom Mg-Gehalt beeinflusst, der i.d.R. nicht größer als 0,3 Gew.-% ist. Wichtig ist die Festigkeit nach dem Löten, da die in den Rohren geführten Betriebsmittel unter großen Drücken stehen. Von entscheidender Bedeutung ist eine hohe Korrosionsbeständigkeit im Rahmen des Korrosionsdesigns des Wärmetauschers. Das Rohrband sollte nach dem Löten immer das positivste Korrosionspotenzial aufweisen, um kathodisch geschützt zu sein. Aufgrund der Bedeutung dieses Punktes sollte das Potenzial vergleichbar mit Wettbewerbslegierungen sein, da häufig zwei oder mehrere Lieferanten für ein Serienprodukt existieren. Für Wärmetauscher wie beispielsweise Radiatoren können spezielle Korrosionstests vorgeschrieben sein, die auf der Innenseite der Rohre eine Schutzplattierung aus einer Zn-haltigen (7000er) Legierung erforderlich machen. Legierungsseitig gibt es die Möglichkeit sogenannte „LongLife“-Legierungen /10, 11/ wie beispielsweise die Legierung EN-AW 3005 mod. einzusetzen (Abbildungen 19 und 20). Durch einen reduzierten Eisengehalt, einen erhöhten Kupfergehalt und eine geeignete Prozeßführung vor dem Löten ermöglicht diese Werkstoffgruppe die in-situ-Ausbildung eines kathodischen Korrosionsschutzes während des Lötprozesses. Zum einen diffundiert Cu beim Löten aus dem Kern in das Lot, so dass ein schützender Potenzialgradient zum edleren Kern hin entsteht. Zum anderen diffundiert Si aus dem Lot in den Kern hinein und führt dort zur Bildung eines Ausscheidungssaumes aus AlMnSi-Phasen, die im Vergleich zur Kernlegierung ein negativeres Korrosionspotenzial aufweisen. Wenn es zu einem Korrosionsangriff auf das Rohr kommt, so wird er sich entlang der Länge des Rohres weiterentwickeln und nicht zu einer katastrophalen Perforation des Rohres führen (Abbildung 20).

### Bilder nach 20 Tagen SWAAT (ASTM)



Standardrohrband EN-AW 3005, H24



Lötspur mit Rohteil EN-AW 3005 mod., H24

Abb. 20: Vergleich des Korrosionsangriffes auf gelötete Rohrbänder nach 20 Tagen SWAAT

Die Korrosionsbeständigkeit von Wärmetauschern für die Automobilindustrie wird üblicherweise im sogenannten SWAAT-Test ermittelt, bei dem die Wärmetauscher bei erhöhter Temperatur mit einer speziellen Salzlösung besprüht und der sich einstellenden Atmosphäre ausgesetzt werden. In der Regel muß ein korrosionskritischer Automobilwärmetauscher 20 Tage dicht bleiben. Der SWAAT-Test ist einer von zahlreichen Korrosionstests und dient der Bewertung der

Außenkorrosion. Die früher wichtige Prüfung der Innenkorrosionsbeständigkeit hat seit der Einführung geeigneter chemischer Korrosionsinhibitoren zu den Kühlmedien in den 80er Jahren an Bedeutung verloren. Eine Bedeutung hat sie in japanischen Spezifikationen, in denen der sogenannte OY-Test verlangt wird. Hierbei handelt es sich um das Spülen von gelöteten Wärmetauschern mit einer speziellen Cu-Ionen-haltigen Salzlösung bis zum Auftreten der ersten Undichtigkeit, wobei zahlreiche Varianten dieses Testes existieren. Eine weitere erprobte Fertigungsvariante ist die Herstellung von Mehrfachplattierungen. Hierbei wird auf einer oder auf beiden Seiten eine weitere Legierung zwischen Lot und Kern plattierte. Trotz zahlreicher interessanter Eigenschaften ist der industrielle Großserieneinsatz bisher an den gegenüber der konventionellen Fertigung anfallenden Zusatzkosten gescheitert.

Rohrbodenband wird typischerweise in Dicken zwischen 1,2 mm und 1,6 mm im Zustand weich hergestellt und verarbeitet. Die Anforderungen an das Umformvermögen vor dem Löten sind hoch, da i.d.R. eine Operation mit hohem Umformgrad durchgeführt wird, die dem Abdichten und Befestigen des Wasserkastens, Sammlers, Luftanschlusses oder ähnlicher Bauteile dient. Rohrbodenband wird normalerweise einseitig lotplattierte. Auf der flüssigkeitsführenden Seite wird in einigen Fällen Reinaluminium oder eine Zn-haltige Legierung als Schutzplattierung verwendet. Beim Verlöten von Rohrboden und Rohren addieren sich lokal die Mg-Gehalte der beiden Bauteile, so dass u.U. eine erhöhte Mg-Konzentration die Qualität der Lötnaht beeinträchtigen kann. Vor dem Lötprozess wird in diesem Fall manuell die Flussmittelkonzentration erhöht oder ein spezielles Cs-haltiges Flussmittel appliziert. Das Korrosionspotenzial von Rohrbodenband liegt nach dem Löten zwischen denen von Rohrband und Lamelle. Das Gefüge nach dem Löten ist eher feinkörnig (Abbildung 19).

Seitenteilband wird typischerweise in Dicken zwischen 1,0 und 1,6 mm im Zustand weich hergestellt und verarbeitet. Die Anforderungen sind denen des Rohrbodenbandes sehr ähnlich. Häufig wird ein Material für beides, Rohrboden- und Seitenteilband, verwendet.

Scheibenband wird typischerweise in Dicken zwischen 0,4 mm und 0,8 mm im Zustand weich mit beidseitiger Lotplattierung (Abbildung 17a) hergestellt und verarbeitet. Die Anforderungen an das Umformvermögen sind hoch, da beim Formen der Scheiben hohe Umformgrade und Umformgeschwindigkeiten auftreten. Die Lötbarkeit hängt beim CAB-Prozess vom Mg-Gehalt und beim Vakuumlöten maßgeblich vom verwendeten Lot ab. Die Festigkeit nach dem Löten ist sehr wichtig, da die zusammengelöteten Scheiben die Funktion des Rohres erfüllen und Wärmetauscher dieser Bauart typischerweise unter sehr hohen Drücken stehen.

Stranggepresste dünnwandige Mehrkammerrohre für gelötete Kondensatoren sowie Rundrohre für mechanisch gefügte Kondensatoren bestehen typischerweise aus EN-AW 3102, EN-AW 1100 und hierauf basierenden Modifikationen. Die Streckgrenze beträgt nach dem Löten ungefähr 35 MPa. Eher dickwandige Rohre für Klimaanlagenleitungen und sonstige flüssigkeitsführende Rohre bestehen meistens aus EN-AW 3003 und EN-AW 3103, die als Strangpressprodukt nach dem Löten eine Steckgrenze von ungefähr 40 MPa erreichen. Für alle diese Legierungen hat Hydro Aluminium eine neuen Legierungsfamilie entwickelt, die insbesondere verbesserte Korrosionseigenschaften aufweist. /12/

Hydro Aluminium bietet für alle Wärmetauscher-Bauarten ein vollständiges Paket aus lotplattierte und unplattierte Walzprodukten sowie Strangpressprodukten an, das im Hinblick auf das Korrosionsdesign, den Lötprozess und die resultierenden Eigenschaften für die Herstellung von Wärmetauschern optimiert ist.

### Fertigungsablauf Halbzeugfertigung

Um die spezifischen Eigenschaften der verschiedenen Wärmetauscherwalzprodukte vor und nach dem Löten zu erreichen, müssen die wesentlichen metallkundlichen Zielgrößen wie Korngröße und -form, Lösungszustand der Legierungselemente, Versetzungsichte und Ausscheidungszustand sowie die makroskopischen Zielgrößen wie Bandplanheit, Dickenverteilung, Schnittkantenausprägung etc. beherrscht und erreicht werden. Gegenüber anderen Walzprodukten kommt bei lotplattierten Produkten die Qualität des Plattierverbundes und die Plattierschichtdickenverteilung über Bandlänge und -breite als Kriterium hinzu. Abbildung 21 zeigt den Fertigungsablauf im Überblick.

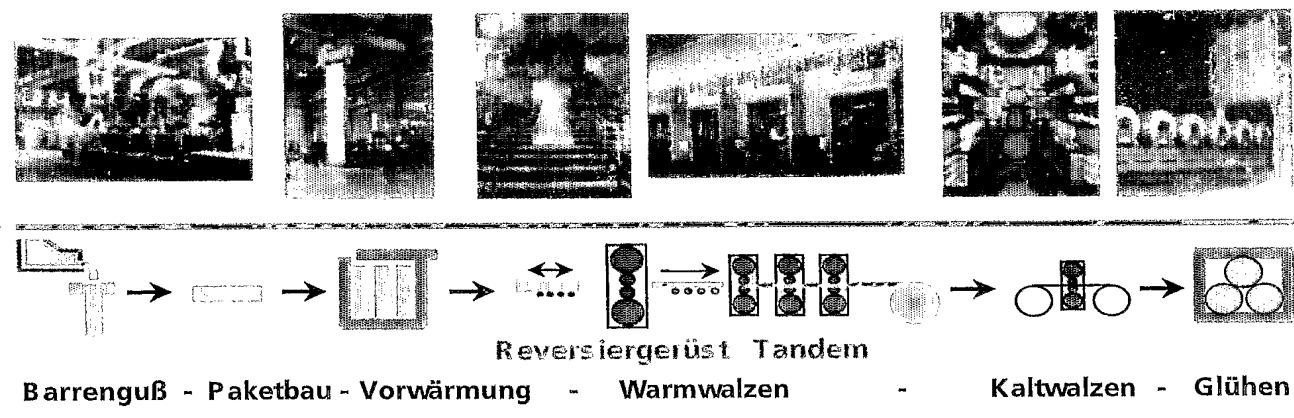


Abb. 21: Fertigungsablauf Halbzeugfertigung

Nach dem Legieren des flüssigen Metalls werden sowohl Kernlegierung als auch Lot als Barren gegossen. Typische Maße sind 6 bis 10 m Länge, 300 bis 600 mm Dicke und 1200 bis 2200 mm Breite. Der Lotbarren wird homogenisiert und anschließend bis zur gewünschten Dicke warmgewalzt und der Länge nach zur sogenannten Lotplatine geteilt. Der Kernbarren wird in Abhängigkeit vom geplanten Walzprodukt homogenisiert oder nicht. Seine Oberfläche wird gefräst. Auf diese Oberfläche wird im Rahmen des sogenannten Paketbaus eine Lotplatine auf den Barren gelegt und befestigt. Im Falle von beidseitig plattiertem Material wird der Vorgang auf der gegenüberliegenden Seite wiederholt. Das gesamte Paket wird im Vorwärmofen auf die für das Warmwalzen gewünschte Temperatur erhitzt und anschließend auf den Rollgang gelegt.

Abbildung 22 zeigt ein fertiges Plattierpaket vor dem ersten Walzstich. Beim Anwalzen im Reversiergerüst kommt es zur Kaltverschweißung zwischen Lotplatine und Kern. Je nach Ausstattung des Walzwerkes können die letzten Warmwalzstiche bis zur Warmbanddicke von 3 mm bis 8 mm gewalzt werden. Der Kaltwalzprozess läuft in vielen Stichen bis zur o.g. Enddicke der jeweiligen Produkte. Das Umformverhalten der plattierten Produkte kann hierbei als homogen angesehen werden. Zur Erreichung der metallkundlichen Zielgrößen wird das Material je nach Anforderung schlussgeglüht und/oder ein oder mehrere Male zwischengeglüht. Das gewalzte Coil



Abb. 22: Plattierpaket vor dem Warmwalzplattieren

wird i.d.R. nach spezifischer Anforderung längsgeteilt, so dass der Wärmetauscherhersteller handhabbare Rollen erhält.

Auch bei Strangpressprodukten werden die spezifischen Eigenschaften der verschiedenen Wärmetauscherprodukte über das Beherrschende metallkundlichen Zielgrößen erreicht. Hinzu kommt, dass das Design der Rohrquerschnitte bereits Bestandteil der Wärmetauscherkonstruktion ist und somit eine enge Zusammenarbeit mit den Wärmetauscherherstellern erforderlich macht. Bei den sogenannten Mehrkammerrohren (Abbildung 17b) besteht die besondere Herausforderung in der Werkzeugtechnologie, um viele nur durch dünne Wände voneinander getrennte Kammern prozesssicher darstellen zu können. Um allen Eigenschafts- und Prozeßanforderungen gerecht werden zu können, sind eine ganze Reihe an speziellen Wärmetauscherstrangpresslegierungen entwickelt worden. Der eigentliche Strangpressprozess beinhaltet die konventionellen Arbeitsschritte Hochglühen, Abkühlen, Vorwärmnen und Pressen und je nach Legierung Abschrecken und Aushärten. Insbesondere bei den dickwandigen Rund- und Ovalrohren ist auch das Ziehen der Rohre nach dem Pressen von zentraler Bedeutung.

## **Zusammenfassung und Ausblick**

Walzprodukte für die Herstellung von Aluminium-Wärmetauschern haben einen großen und weiter wachsenden Markt eroberiert. Spezifische Legierungen und Lieferzustände erlauben die Realisierung unterschiedlicher Bauarten und Anwendungen. Als geeignete Lötverfahren zur Herstellung von Al-Wärmetauschern hat sich neben dem Vakuum- und Salzbadlöten der CAB-Prozess mit nichtkorrosivem Flussmittel als Hauptverfahren etabliert und in den 90er Jahren zum führenden Verfahren entwickelt.

Die Halbzeugprodukte müssen in unterschiedlichem Maße den Forderungen nach Umformverhalten vor dem Löten, Lötbareit, Festigkeit nach dem Löten, Wärme- und Kühlleistung sowie einem als System abgestimmten hervorragenden Korrosionsverhalten genügen.

Durch den anhaltenden Trend zum automobilen Leichtbau wird die Entwicklung der Halbzeuge zu weiteren Wanddickenreduzierungen und damit zu erhöhten Festigkeiten und verbessertem Korrosionsverhalten nach dem Löten weitergehen.

Wichtige Einzelimpulse kommen aus der Einführung von Klimaanlagen mit dem Kühlmittel  $\text{CO}_2$  sowie der Einführung der EURO 4 und EURO 5 Abgasnorm im Hinblick auf LKW-Ladeluftkühler. Beides erhöht die Anforderungen an die Warmfestigkeit der Aluminiumhalbzeuge bei hohen Betriebsdrücken. Intensive Bemühungen laufen mit dem Ziel, die Flussmittel- und gegebenenfalls auch die Lotapplikation auf den Halbzeugen mittels Bindersystemen durchzuführen.

Die Umformbarkeit von Walzprodukten war bisher vor allem bei weichen Produkten wie Scheibenband oder Rohrbodenband wichtig, da diese Halbzeugprodukte im weiteren Prozessablauf stark umgeformt wurden. In Zukunft wird das Umformverhalten aufgrund engerer Toleranzen in der Fertigung auch für viertel- und halbharte Produkte wie Lamellen- und Rohrband zunehmend von Bedeutung sein.

**Literatur:**

- [1] Sicking, R.: Walzprodukte für die Herstellung von Aluminium-Wärmetauschern. 10. Werkstoffwissenschaftliches Kolloquium – Innovative Werkstofftechnologie 2002, Werkstoffwissenschaftliche Schriftenreihe, Band 61, S. 60-72, Hrsg. E. Lugscheider
- [2] Mrotzek, M: Walzplattierte Werkstoffe zum Hartlöten von Wärmetauschern für die Automobilindustrie. TA Esslingen, Seminarunterlagen zum Lehrgang Nr. 21750/54.044, Aluminium-Werkstofftechnik für den Automobilbau, 1996
- [3] Grünenwald, B.: Löten von Aluminium im Wärmetauscherbau. 15. Fachtagung „Prozeßkette Karosserie“, 19.-21. Feb. 2003, Fellbach, CD-ROM zur Tagung
- [4] Swidersky, H.-W.: Aluminium Brazing with Non-corrosive Fluxes – State of the Art and Trends in NOCOLOK® Flux Technology. 6. Internationales Kolloquium Hart- und Hochtemperaturlöten und Diffusionsschweißen (Löt'01), 8.-10. Mai 2001, Aachen; DVS Berichte Band 212, S. 164-169
- [5] Nordlien, J. H. et al: A system approach to heat exchanger manufacture using flux coated components. Proceedings of the Vehicle Thermal Management Systems Conference '03 (VTMS 6), Brighton, 18.-23. Mai 2003
- [6] Schoer, H.: Schweißen und Hartlöten von Aluminiumwerkstoffen. Fachbuchreihe Schweißtechnik, Band 137, DVS-Verlag, Düsseldorf, 2002, S. 156-161
- [7] Lugscheider, E. u. Quadakkers, W. J.: Flußmittelfreies Vakuumhartlöten von Aluminiumwerkstoffen. Schweißen und Schneiden 34, 1982, Heft 8
- [8] Sicking, R.; Wagner, P.; Husse, Th.: A new high strength fin material with excellent corrosion behaviour. 2. International Congress Aluminium Brazing, 15.-17. Mai 2002, Düsseldorf
- [9] Takeuchi, K. et al.: Materia, 39, No. 1, 81, 2000
- [10] Finnegan, W. D. et al.: Kaiser Aluminium & Chemical Corp., US-Patent 4.586.964, 1996
- [11] Marshall, G. J. et al.: Development of a long-life Al-Brazing Sheet Alloy with enhanced mechanical performance. SAE-paper 940505, Detroit, 1994
- [12] Daaland, O; and Auran, L.: Aluminium long-life alloys for extruded tubes. Proceedings of the Vehicle Thermal Management Systems Conference '03 (VTMS 6), Brighton, 18.-23. Mai 2003